



T0 **Análisis de la influencia de los puntos de control terrestre en la exactitud posicional de ortofotomosaicos generados por medio de un vuelo fotogramétrico realizado por un vehículo aéreo no tripulado (VANT)**

Analysis of the influence of terrestrial control points in the positional accuracy of orthophotomosaics generated by means of a photogrammetric flight made by an unmanned aerial vehicle (VANT)

Daniel Ortiz,¹ & Francisco Hernández²

Para citar este artículo: Ortiz, D., & Hernández, F. (2019). Análisis de la influencia de los puntos de control terrestre en la exactitud posicional de ortofotomosaicos generados por medio de un vuelo fotogramétrico realizado por un vehículo aéreo no tripulado (VANT). Revista de Topografía Azimut, (10), pp: xx-xx

Fecha de recepción 12 de marzo de 2019 – Fecha de aceptación: 21 de mayo de 2019

Resumen

El objetivo general de este trabajo fue evaluar la exactitud posicional de 13 diferentes experimentos para obtener ortofotomosaicos según la cantidad, forma y distribución de los puntos de control terrestre como resultado de los procesos fotogramétricos con imágenes adquiridas por medio de un vuelo realizado con un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT). La exactitud posicional utilizada en la evaluación de los productos fue definida según los estándares internacionales de calidad de productos geoespaciales, aplicables a productos cartográficos a escala 1:200, destinados a proyectos de alta precisión en ingeniería. Esas verificaciones de la calidad geométrica fueron realizadas por medio del análisis y

¹ Universidad del Valle. Grupo de Investigación en Percepción Remota GIPER. Correo electrónico: danielortiz896@hotmail.com

² Universidad del Valle. Grupo de Investigación en Percepción Remota GIPER. Correo electrónico: francisco.hernandez@correounivalle.edu.co

evaluación estadística de las discrepancias tridimensionales de los experimentos obtenidos en el procesamiento fotogramétrico.

Palabras Clave: ASPRS, exactitud posicional, ortofotomosaicos, test de calidad, VANT.

Abstract

The general objective of this work was to evaluate the positional accuracy of 13 different experiments to obtain orthophotomosaics according to the quantity, shape and distribution of the terrestrial control points, as a result of the photogrammetric processes with images acquired by means of a flight made with UAV. The positional accuracy used in the evaluation of the products was defined according to the international standards of quality of geospatial products, applicable to cartographic products at a scale of 1: 200, destined to projects of high precision in engineering. These verifications of the geometric quality were made through the analysis and statistical evaluation of the three-dimensional discrepancies of the experiments obtained in the photogrammetric processing.

Keywords: ASPRS, orthophotomosaics, positional accuracy, quality test, UAV.

T1 Introducción

Los drones o Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) también conocidos como Remotely Piloted Aircraft (RPA, por sus siglas en inglés), Unmanned Aircraft Systems (UAS, por sus siglas en inglés), Unmanned Aircraft Vehicle (UAV, por sus siglas en inglés), Unmanned Vehicle System (UVS, por sus siglas en inglés), Vehículo Aéreo Remotamente Pilotado (VARP), entre otros nombres, se han convertido en herramientas para la obtención de información útil y eficaz que ahorra tiempo, reduce los costes y genera resultados muy satisfactorios (Saez y Beltrán, 2015). Actualmente el uso de VANT en tareas geoespaciales se da principalmente en levantamientos aerofotogramétricos para la generación de ortofotos y Modelos Digitales de Elevación (MDE), estos como insumos básicos para la producción cartográfica, levantamientos catastrales, monitoreo de la producción agrícola, cálculo de movimiento de tierras entre otras aplicaciones en ingeniería.

De acuerdo con Atkinson (2003), hoy día la calidad es un tema de vital importancia en una sociedad moderna y una de las bases para la mejora continua de las empresas y de su competitividad. Ante este nuevo reto la fotogrametría con VANT no puede quedar al margen, ya que el hecho de realizar un control de calidad posicional de sus productos,

ofrece una última verificación antes de entregarla al comprador. No cabe duda de que ello supondrá un valor añadido a los productos, ofreciendo una garantía final en lo que se refiere a uno de los factores más importantes en los productos cartográficos: la ubicación de los elementos representados en el territorio, pues los mapas perderían gran parte de su valor si no se comprueba que lo que se ha hecho cartografiado realmente se encuentra donde se dice que está. Todo ello es perfectamente aplicable tanto sobre el producto final, como en los procesos intermedios de producción (Ariza F., 2002).

T1 Evaluación de la exactitud posicional de ortofotomosaicos

T2 Materiales y Métodos

Para este proyecto se aplicó el test de la American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS, 2014) con el propósito de evaluar la exactitud posicional de ortofotomosaicos obtenidos a partir de un VANT. Se utilizaron puntos de control obtenidos con GPS y estación total y se diseñaron distintas configuraciones, en cuanto a cantidad y forma de distribución de los puntos de control terrestre y de calidad en exactitud posicional para analizar la influencia que estas configuraciones tienen sobre la exactitud final.

La zona de estudio fue una propiedad privada en el Corregimiento de Presidente del municipio de San Pedro, Valle del Cauca, con coordenadas geográficas $3^{\circ}58'07.32''$ N, $76^{\circ}15'15.14''$ O, que tienen un área de 8 ha aproximadamente, medida que será el punto de partida para conocer las dimensiones del terreno. Asimismo, se utilizaron dos receptores GNSS marca GEOMAX ZENITH 20 con 120 canales de doble frecuencia para sistemas GPS, GLONASS, GALILEO, con precisión en posicionamiento RTK de 20 mm + 1ppm en la posición vertical y 10mm + 1ppm en el componente horizontal, además de los accesorios: trípode, bastón telescópico, base nivelante, bipode, radio externo, baterías, controladora para guardar los datos y una memoria; una estación total marca SOKKIA SET 650X, con una desviación estándar en ángulos horizontales de 1" y una desviación estándar en distancias horizontales de 0,002m, según las especificaciones del fabricante. Para la adquisición de las imágenes aéreas en la etapa de levantamiento fotogramétrico se utilizó un cuadricóptero diseñado y construido por el autor (figura 1).



Figura 1: Cuadricóptero utilizado en el proyecto.

El equipo posee las siguientes características y accesorios: envergadura de 65 cm de motor a motor, velocidad crucero de 5 a 12 m/s, sensores de posición (GPS), movimiento (IMU), altura (barómetros digitales), corriente y voltaje (Power Module) orientación (Magnetómetro). Cámara digital RGB de 16 MP, Canon A2300, radio control para la operación del VANT con una comunicación de 2,4 GHz. Estación de control en tierra compuesta por un computador, el equipo de telemetría que permite la comunicación con el VANT hasta 1,6 km de distancia, y también el software Mission Planner para realizar el plan de vuelo y monitorear los sensores y la ruta prediseñada.

En la etapa del procesamiento de la fototriangulación y de generación de los productos finales se utilizó un computador SONY VAIO con procesador AMD A10 CON Radeon (tm) HD Graphics de 2.10 GHz, 2 GB de RAM y los programas Agisoft Lens, para obtener los parámetros de calibración de la cámara, Agisoft PhotoScan Versión trial por 30 días, para el procesamiento fotogramétrico y ArcGis Desktop para obtener las coordenadas de los puntos de control y de chequeo.

T2 Captura de la información

Para la vinculación del mapeo en un sistema de coordenadas oficiales, fueron utilizados 30 puntos de control en el terreno, distribuidos en forma de red de pesca por toda el área (figura 2). Esta cantidad atiende a las necesidades de ajuste de aerotriangulación, y principalmente, a una distribución normal sobre el terreno de modo que los puntos estuvieran aislados de las edificaciones y obstáculos altos para evitar oclusiones, garantizando así una buena visibilidad a partir de las fotos aéreas y la geometría mínima para el ajuste de la aerotriangulación.

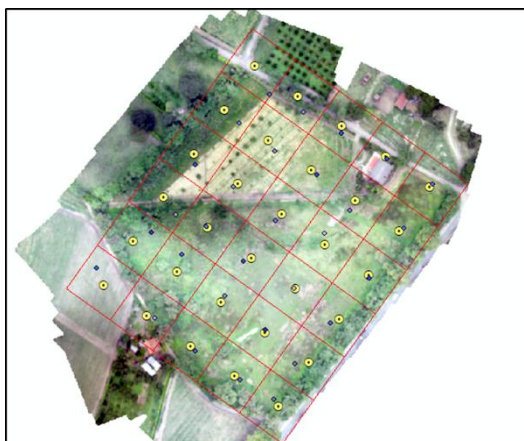


Figura 2: Distribución de los puntos de control teóricos y reales.

Igualmente, en el levantamiento geodésico se fijaron dos marcos de concreto, de tipo tubular en lugares estratégicos para la determinación de las coordenadas planimétricas y altimétricas de los puntos de control y de los puntos de chequeo foto-identificables. El producto cartográfico final tuvo sus coordenadas (geodésicas y planas) vinculadas al sistema de referencia MAGNA-SIRGAS (Marco Geocéntrico Nacional - Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas). Las coordenadas planas están presentadas en el sistema de proyección MAGNA_Colombia_Oeste EPSG: 3115 con época de referencia 1995.4 como lo determina el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). Este par de puntos fueron posicionados por medio de GPS en modo RTK con base en una estación activa del IGAC con código 76670002 ubicado en la parte sur del peaje de San Pedro entre Buga y Tuluá en el departamento del Valle del Cauca. Con relación a la altimetría se optó por llevar las altitudes elipsoidales a ortométricas a partir del modelo geoidal GeoCol 2004, tanto de las coordenadas de navegación embarcado en el VANT (transformadas posteriormente) como para los puntos de control y de chequeo.

Para el levantamiento de las coordenadas de los puntos distribuidos por toda el área se realizó una poligonal cerrada de 6 deltas, que fueron ajustados posteriormente. Cada radiación hacia los puntos de control y de chequeo se repitió entre 3 y 4 veces para así tener el promedio de las mediciones con el fin de calcular la exactitud posicional de cada punto levantado. Una vez se ajustó la poligonal, las radiaciones también fueron ajustadas y promediadas para obtener las coordenadas de los puntos de control y de chequeo.

T2 Planeación del vuelo

En esta etapa del proyecto se hizo uso de la herramienta Mission Planner para el cálculo de todos los elementos necesarios para conseguir un vuelo de manera fotogramétrica cumpliendo todos los requisitos de cubrimiento y traslape (tabla 1).

Tabla 1: Parámetros utilizados para la planeación del vuelo.

Ítem	Cantidad	Unidad
Error planimétrico máximo-punto de control	1,25	cm
Error altimétrico máximo-punto de control	2,5	cm
Tamaño del pixel en el terreno (GSD)	2,5	cm
Traslape Longitudinal (Slon)	70	%
Traslape Lateral (Slat)	40	%
Altura de Vuelo (Alt) respecto al suelo	80	m
Altitud de Vuelo (h) elipsoidal	1036	m

T2 Ejecución del vuelo

Antes de ejecutar el vuelo se hizo el procedimiento para obtener los parámetros de calibración para caracterizar el lente de la cámara, para obtener los parámetros de calibración de la cámara se utilizó el software Agisoft Lens, donde se procede a caracterizar el lente de la cámara tipo Pin-Hole. Posteriormente se ejecutó el plan de vuelo fotogramétrico monitoreando en tiempo real el vuelo desde la estación de control terrestre para garantizar de esta manera la posición, la altitud y la dirección de la fotografía con respecto a la planeación de vuelo, cumpliendo así las sobreposiciones indicadas para crear la estereoscopía.

El vuelo se realizó el día 6 de noviembre de 2016, a las 11:00 am con condiciones de clima ideales para el vuelo (despejado total de nubes, vientos bajos, sin obstáculos para la operatividad del vehículo), con un tiempo total de vuelo seis minutos aproximadamente, haciendo el recorrido por cinco líneas de vuelo, con un cubrimiento de 11,4 ha, y un total de 97 fotografías generando un log de vuelo que guarda el vehículo en su memoria. Se definió una escala cartográfica 1:200 como parámetro de salida de los productos finales del experimento, para lo que se consideraron los requisitos sobre exactitud posicional para la producción de datos geospaciales según la ASPRS (2014).

T2 Proceso fotogramétrico

El proceso fotogramétrico para los 12 experimentos se realizó en el programa Aigisoft Photoscan. El tiempo de procesamiento fotogramétrico para cada experimento fue de aproximadamente de tres horas. Todos los experimentos se realizaron bajo las mismas condiciones de parametrización de cada procesamiento, lo único que es diferente para cada experimento es la cantidad de puntos de control y su distribución sobre el terreno.

T2 Prueba de calidad cartográfica

Los datos se proyectaron a una exactitud posicional “clase 5 cm” para la producción de una cartografía a escala 1:200, por lo que fue aplicada la metodología de exactitud posicional a todos los ortofoto-mosaicos obtenidos y fue publicado el experimento que mejor resultado obtuvo, como producto geoespacial evaluado con un estándar internacional de calidad. Se utilizó el test estadístico (ASPRS, 2014) midiendo el nivel de exactitud posicional por medio de la clase de exactitud planeada versus la obtenida

T2 Discrepancia entre geometrías de objetos

Para obtener la discrepancia entre la información real en terreno y la información digital se realizaron 10 medidas de longitud y 5 medidas de área sobre el ortofoto-mosaico más aceptable en exactitud posicional.

T1 Resultados

Se muestran los resultados de exactitud posicional de los dos puntos tomados con GPS en modo de posicionamiento RTK (tabla 2). Como se puede observar, ambos puntos cumplieron con el estándar ASPRS (2014) que exige que la exactitud horizontal de los puntos de control sean 1/4 de la exactitud final (1,25 cm en XY, para este caso) y la exactitud vertical sea de 1/2 de la exactitud esperada (2,5 cm en Z, para este caso) de los ortomosaicos generados.

Tabla 2: Exactitud posicional de los puntos del marco de apoyo principal.

PU NT O	NOR TE	ESTE	ALTU RA ELIPS OIDA L	σ_N REL ATIV A	σ_E REL ATIV A	σ_h REL ATIV A	σ_N NOM INAL	σ_E NOM INAL	σ_h NOM INAL	σ_N FI NAL	σ_E FI NAL	σ_h FI NAL
---------------	-----------	------	----------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------

IG	9309	10914										
AC	76,65	43,63	978,71									
	8	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D1	9307	10910										
	60,46	22,69	979,70							0,0	0,0	0,0
	9	2	5	0,006	0,006	0,01	0,01	0,01	0,02	12	12	22
D2	9306	10909										
	92,06	84,73	980,71							0,0	0,0	0,0
	2	7	5	0,006	0,004	0,01	0,01	0,01	0,02	12	11	22

De igual modo, se presenta el experimento realizado, la cantidad de puntos de control utilizados y los errores medios finales para cada componente posicional (tabla 3). El error máximo en X fue de 4,02039mm y el mínimo de 0,42430mm. El error máximo en Y fue de 3,39054 mm y el mínimo fue de 0,33233mm. El error máximo en Z fue de 8,37334mm y el mínimo fue de 0,99643mm. Según estos resultados todos los puntos de control cumplen satisfactoriamente con la condición de exactitud posicional después de hacer la aerotriangulación.

Tabla 3: Errores medios en cada componente posicional de los puntos de control para cada experimento.

Experimento	Número de Puntos	Error X (mm)	Error Y (mm)	Error Z (mm)	Error XY (mm)	Total (mm)
5A	5	1,61278	2,60591	3,28422	3,06461	4,49198
5B	5	1,77042	3,03183	2,25908	3,51090	4,17491
5C	5	2,94018	0,57412	2,23304	2,99571	3,73641
5D	5	0,82683	1,30599	3,57738	1,54572	3,89704
5E	5	4,02039	2,38038	4,04747	4,67223	6,18156
8A	8	2,65683	1,18461	3,65502	2,90896	4,67132
8B	8	0,42430	0,33233	0,99643	0,53896	1,13285
8C	8	2,86651	2,88866	7,73141	4,06955	8,73704

8D	8	2,99301	2,83298	6,56350	4,12115	7,75006
10A	10	3,00402	3,02925	8,37334	4,26621	9,39752
10B	10	2,36177	2,91656	5,09489	3,75290	6,32789
10C	10	3,94399	3,39054	6,33612	5,20104	8,19739

También se presenta el resultado del cálculo del nivel de confianza de exactitud horizontal al 95% para todos los experimentos (figura 3). La línea punteada muestra el umbral horizontal según ASPRS (2014), el cual es de 0,121 m. Se observa que ningún experimento supera el umbral exigido, por tanto, todos cumplen con el nivel de confianza de exactitud horizontal al 95%. El experimento que tuvo el nivel de confianza mínimo fue el 5C con 0,0356 m y el máximo fue el 8A con 0,0523 m.

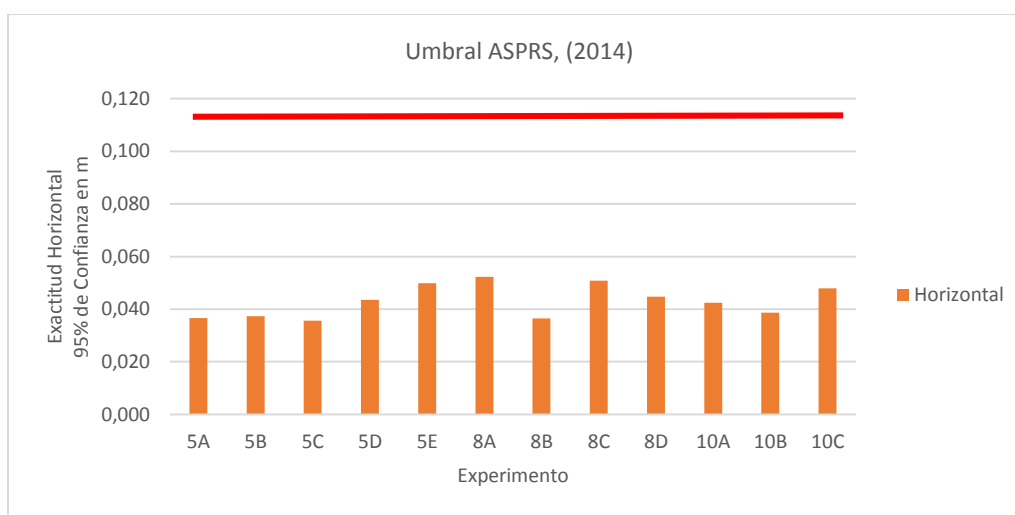


Figura 3: Comparación de Exactitud Horizontal con el Umbral ASPRS (2014).

De la misma manera, se muestra el resultado del cálculo del nivel de confianza de exactitud vertical al 95% para todos los experimentos (figura 4). La línea punteada negra muestra el umbral vertical en zonas de no vegetación según ASPRS (2014) que es de 0,098 m. También se muestra una línea punteada en rojo que es el umbral vertical en zonas de vegetación que es de 0,15 m. Se puede observar que para el umbral de las zonas de no vegetación (NVA) todos los experimentos superan el umbral exigido, por tanto, ninguno cumple con el nivel de confianza de exactitud horizontal al 95% para zonas de no vegetación (NVA). Para el umbral de zonas de vegetación (VVA) solo los experimentos

(5A, 5B, 8A, 8B y 8D) no superan el umbral exigido, por tanto, los experimentos mencionados cumplen con el nivel de confianza de exactitud vertical al 95% para zonas de vegetación (VVA) y el resto no lo cumplen. El experimento que tuvo el nivel de confianza mínimo fue el 5A con 0,1231 m y el máximo fue el 5E con 0,2019 m

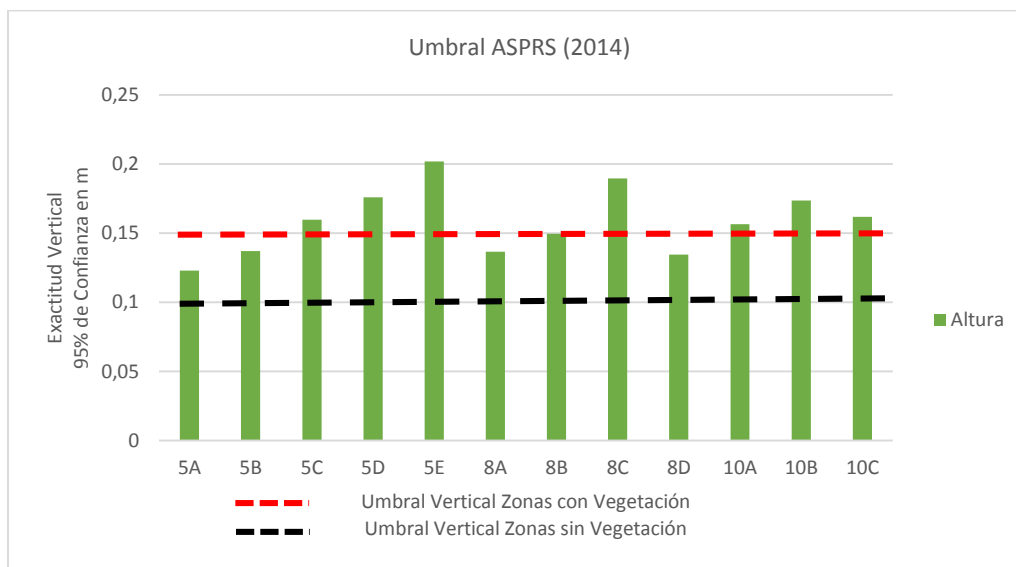


Figura 4: Comparación de Exactitud Vertical con el Umbral ASPRS (2014).

De acuerdo con lo anterior, se presenta el listado de todos los experimentos con sus respectivos órdenes de calificación tanto para el nivel de confianza de exactitud horizontal como vertical al 95% (tabla 4). Por último, se hace la sumatoria de estas dos calificaciones y se asigna un orden final, desde el menor hasta el mayor en la sumatoria. Las casillas del orden final que dicen “no cumple” es debido a que fueron los experimentos que superaron el umbral en el nivel de confianza de exactitud vertical al 95%, y por eso no son consideradas en esta evaluación.

Tabla 4: Puntuación Final de los experimentos.

Experimento	Orden de calificación del Nivel de confianza de exactitud	Orden de calificación del Nivel de confianza de exactitud	Sumatoria de las posiciones	Orden Final
-------------	---	---	-----------------------------	-------------

	horizontal al 95%	vertical al 95%		
5A	3	1	4	1
5B	4	4	8	3
5C	1	12	13	No cumple
5D	7	12	19	No cumple
5E	10	12	22	No cumple
8A	12	3	15	5
8B	2	5	7	2
8C	11	12	23	No cumple
8D	8	2	10	4
10A	6	12	18	No cumple
10B	5	12	17	No cumple
10C	9	12	21	No cumple

En cuanto a las discrepancias en longitud, se muestra las medidas en longitud tomadas en campo, su comparación con las medidas hechas sobre el ortofoto-mosaico 5A, el error en cada medición y el promedio de las 10 medidas (tabla 5). Las discrepancias en longitud fueron muy aceptables teniendo una discrepancia mínima de -0,001 m, y una máxima de 0,0187 m con un promedio de -0,0033 m, resultados que hacen de este experimento un insumo de primer orden para la elaboración de cartografía de 1:200 en adelante.

Tabla 5: Comparación longitudes entre campo y experimento 5A.

Id	LONGITUD_CAMPO	LONGITUD_5A	Discrepancia
----	----------------	-------------	--------------

	(m)	(m)	(m)
1	0,17	0,1819	-0,0119
2	0,15	0,1810	-0,0310
3	1,60	1,6113	-0,0113
4	1,40	1,4010	-0,0010
5	1,37	1,3674	0,0026
6	1,00	0,9932	0,0068
7	1,51	1,4946	0,0154
8	0,81	0,8120	-0,0020
9	0,83	0,8497	-0,0197
10	0,51	0,4913	0,0187
		promedio	-0,0033

Por su parte, se muestra las medidas en área tomadas en campo, su comparación con las medidas hechas sobre el ortofoto-mosaico 5A, el error en cada medición y el promedio de las 5 medidas (tabla 6). Las discrepancias en área fueron muy aceptables teniendo una discrepancia mínima de $-0,0013 \text{ m}^2$, y una máxima de $0,0412 \text{ m}^2$ con un promedio de $0,0058 \text{ m}^2$, resultados que hacen de este experimento un insumo de primer orden para la elaboración de cartografía de 1:200 en adelante.

Tabla 6: Comparación áreas entre campo y experimento 5A.

Id	AREA_CAMPO m^2	AREA_EXPERIMENTO	
		5A m^2	Discrepancia m^2
1	1,5100	1,4688	0,0412
2	2,2400	2,2492	-0,0092
3	0,6723	0,6710	0,0013
4	0,6500	0,6705	-0,0205
5	0,1887	0,1725	0,0162
		promedio	0,0058

Discusión

La metodología que se adoptó para ejecutar este proyecto fue basada en la revisión bibliográfica, para atender los estándares de exactitud posicional y puntualmente el ASPRS (2014), considerando: el levantamiento geodésico y topográfico de los puntos de control, el plan de vuelo fotogramétrico, el recubrimiento aerofotogramétrico, la aerotriangulación y la generación de los ortofotomosaicos.

Comparando este proyecto con el de Coelho (2015), puede notarse que en este se obtuvo mejores resultados en el proceso de ajuste de los puntos de control que son de nivel milimétrico a diferencia del otro trabajo que fue del orden entre los 8-10 cm, esto es debido a que las escalas esperadas en ambos proyectos son diferentes. Otra diferencia notable es que en este trabajo se filtró la nube de puntos con el fin de crear el Modelo Digital del Terreno (MDT) como insumo para la generación del ortofotomosaico, en el otro trabajo se edita la nube de puntos poco densa para ajustar con puntos de enlace los cambios en altitud abruptos para así conseguir el Modelo Digital de Superficies (MDS) como insumo para la generación del ortofotomosaico. La mayor diferencia es que si se obtiene el MDT, su producto derivado son las curvas de nivel que representan el relieve, y no la superficie, factor que en el momento de la ortorectificación hace que las imágenes sufran mayor distorsión en el MDS sobre las estructuras, construcciones y vegetación.

De igual modo, en este proyecto se tuvieron en cuenta los test EMAS, NMAS, NSSDA que fueron aplicados por Álvarez (2010) para detección de errores groseros y sistemáticos, y medir la exactitud posicional de las coordenadas que fueron obtenidas desde la cartografía; el test ASPRS (2014) que fue publicado para evaluar la exactitud posicional de todos los procesos involucrados de producción de datos geoespaciales; y la medición de la discrepancia con longitudes y áreas de Sani, Morillo y Tierra (2014) utilizando el modelo digital de elevaciones de Corredor (2015) para complementar la información topográfica, lo cual resalta la importancia de los puntos de control. En cambio, en el otro trabajo ningún autor consultado aplicó test debido a que emplearon la exactitud posicional solo al producto final, la cartografía; y los ortofotomosaicos se obtuvieron con y sin puntos de control pero no los compararon con la medición real en campo.

Conclusiones

Para terminar, el objetivo general de este trabajo fue evaluar la exactitud posicional de 13 diferentes experimentos para obtener ortofotomosaicos según la cantidad, forma y distribución de los puntos de control terrestre, como resultado de los procesos fotogramétricos con imágenes adquiridas por medio de un vuelo realizado con VANT. La exactitud posicional utilizada en la evaluación de los productos fue definida según los estándares internacionales de calidad de productos geoespaciales, aplicables a productos cartográficos a escala 1:200, destinados a proyectos de alta precisión en ingeniería. Esas verificaciones de la calidad geométrica fueron realizadas por medio del análisis y evaluación estadística de las discrepancias tridimensionales de los experimentos obtenidos en el procesamiento fotogramétrico.

Ante esto, la principal conclusión que se obtuvo en este proyecto fue que el uso de puntos de control terrestres en un proyecto fotogramétrico con imágenes obtenidos con vehículos aéreos permite cumplir con los estándares definidos por la ASPRS (2014) para la exactitud posicional del producto final que es el ortofotomosaico. Con respecto a las configuraciones propuestas de distribución y cantidad de puntos de control, la que mejor resultados presento, teniendo en cuenta tanto posición horizontal como vertical, fue el experimento 5^a que propone ubicar 4 puntos de control en las esquinas y 1 punto de control en el centro, lo que garantiza el cumplimiento del test de calidad para escalas 1:200 en adelante.

Referencias

- Alvarez, D. (2010). *Generación de ortoimágenes mediante fotografías aéreas capturadas desde un aeromodelo con cámara no métrica*. Cali: Universidad del Valle.
- American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. (2014). ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. Obtenido de http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/Positional_Accuracy_Standards.pdf
- Ariza F. (2002). *Calidad en la producción cartográfica*. España: Universidad de Jaen.
- Atkinson, A. (2003). Estudio teórico para el control posicional en imágenes de teledetección georreferenciadas. *X Congreso de Teledetección*, (117-222). Cáceres, España.
- Coelho, I. A. (2015). Avaliação da qualidade de dados oriundos de vant para mapeamento fotogramétrico aplicado em projetos rodoviários. Universidade federal do Rio Grande Do Sul. Obtenido de <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/133590>.

Corredor, J. (2015). *Implementación de modelos de elevación mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de una vía en rehabilitación sector Tuluá, Río Frio*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

Sani, J., Morillo, A., y Tierra, A. (2014). *Vehículos aéreos no tripulados-UAV para la elaboración de cartografía escalas grandes referenciadas al marco de referencia SIRGAS-ECUADOR*. Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Av. Gral Rumiñahui.

Saez, D., y Beltrán, A. (2015). Aplicaciones cartográficas. En Madrid, C. (Ed.), *Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil* (67-77). Madrid: Gráficas Arias Montano, S.A.